

Das Blutgefäßsystem als Gegenstand anatomischer Forschung

Antrittsrede anlässlich der Rektoratsübergabe am 7. Dezember 1960

Die Kenntnis von dem Blutkreislauf und seiner Bedeutung für alle Funktionen des menschlichen und tierischen Organismus ist heutzutage Allgemeingut. Jedermann weiß, daß man darunter jenen Vorgang versteht, durch den das Blut durch das Herz angetrieben in einem geschlossenen Röhrensystem durch den Körper bewegt wird.

Die linke Hälfte des beim Warmblüter zweigeteilten Herzens schickt das Blut durch die aus ihm entspringende Hauptschlagader, die Aorta, in den Körper hinaus. Die Schlagadern oder Arterien, verzweigen sich in allen Organen in immer feiner werdende Äste und gehen endlich in unzählige Haargefäße oder Kapillaren über, die den Stoffaustausch zwischen Blut und Geweben vermitteln. Die Haargefäße vereinigen sich wieder zu größeren Leitungsröhren, den Blutadern oder Venen, und diese sammeln sich schließlich zu den beiden großen Hohlvenen, die das Blut der rechten Herzhälfte zuführen. Dieser große oder Körperkreislauf hat die Aufgabe, alle Körperorgane den jeweiligen Erfordernissen entsprechend mit Blut zu versorgen.

Das Blut, das durch die erwähnten Hohlvenen dem rechten Herzen zufließt, wird von hier aus durch die Lungenarterie in die Lunge befördert, von wo es mit Sauerstoff angereichert, durch die Lungenvenen dem linken Herzen zuströmt, um dann erneut den Weg in den Körper anzutreten. Diesen Teil des Gesamtkreislaufes pflegt man als den kleinen oder Lungenkreislauf zu bezeichnen.

Wenn wir den Blutkreislauf zunächst in dieser etwas schematisierten Form betrachten, so handelt es sich um die doch recht einfache Funktion eines Organsystems, dessen Einzelteile, das Herz und die von ihm ausgehenden, grob morphologisch leicht darstellbaren Blutgefäße, sich dem aufmerksamen Beobachter geradezu aufdrängen. Und doch hat es Jahrhunderte, ja Jahrtausende gedauert, ehe das „magnum inventum“, die große Entdeckung des Blutkreislaufes glückte. Und es erscheint nicht nur dem Fachmann reizvoll und nützlich festzustellen, welches Maß an Spekulationen, an Inspiration und Intuition, aber auch an zielstrebigem, geduldiger Forschungsarbeit im Wechsel der Jahrhunderte aufgewendet und welche zuweilen recht eigenartigen technischen Verfahren und Untersuchungsmethoden angewandt wurden, um unsere Kenntnisse über den Bau und die Funktion des Blutgefäßsystems und unser Wissen über den Blutkreislauf auf den heutigen Stand zu bringen.

Über einige Phasen der Erforschung des Blutgefäßsystems, die schließlich auch zur Entdeckung des Blutkreislaufes geführt haben und zugleich auch einen wichtigen Abschnitt der Geschichte der Gesamtanatomie darstellen, möchte ich nunmehr berichten:

Bei den alten Ägyptern war es vor allem der Totenkult, der den mit der Mumifizierung der Leichen Beschäftigten gewisse anatomische Kenntnisse vermittelte; diese hatten jedoch vorwiegend spekulativen Charakter und zeigten zugleich auch ausgesprochene Merkmale des Magischen. In den Vorstellungen der Ägypter war nämlich das Herz der Mittelpunkt des Körpers, das Organ des Lebens und Denkens. Über die aus dem Herzen hervorgehenden Blutgefäße besaßen sie nur vage Vorstellungen, wenn auch jene zur Lunge gehenden ihnen bekannt waren und sie auch wußten, daß der Puls in den Gefäßen vom Herzen aus zur Peripherie geleitet wird.

Nicht viel besser stand es in Altindien um die Kenntnisse der Blutgefäße. Hier nahm man an, daß ihr Ursprung im Nabel liege, und daß sie zum großen Teil kein Blut, sondern nur eine „Rasa“ genannte Flüssigkeit führen, die das Herz mit einem von ihm erzeugten feurigen Stoff gemischt in den Körper treibe. Als Blutquellen galten die Milz und die Leber.

Erst bei HIPPOKRATES und seinen Schülern finden wir die ersten genaueren anatomischen Angaben über das Herz und die Blutgefäße, die allerdings vorwiegend aus Untersuchungen an Tieren stammten und daher auf die Verhältnisse beim Menschen übertragen, zu falschen Analogieschlüssen führten. Auch hier galten als Organe der Blutbereitung immer noch die Leber und die Milz, aus denen auch die Blutgefäße ihren Ursprung nehmen sollten. Obwohl die Wirkung der Herzklappen am toten Organ richtig erkannt war und die Herzkontraktionen am lebenden Tier beobachtet wurden, war jedoch auch den Hippokratikern der Blutkreislauf unbekannt.

Erstaunlich genaue Angaben über die Anatomie der Tiere macht Aristoteles in seinen „*Historia animalium*“.

Interessant ist in diesem Zusammenhang seine Feststellung, daß die Arterien sich aus einem Hauptstamm entfalten, dem er den heute noch gebrauchten Namen *Aorta* gab. Ebenso waren ihm die beiden Hohlvenen bekannt, durch deren Äste nach seiner Meinung das Blut mit Luft gemischt im Körper verteilt wird. Vom Bau des Herzens, dem er drei Abteilungen zuspricht, entwickelt er allerdings nur schwer deutbare Vorstellungen; im übrigen ist es auch nach seiner Meinung Sitz der Empfindung.

Im Rahmen dieser Betrachtung verdienen ferner HEROPHILOS und ERASISTRATOS, zwei griechische Ärzte aus der Alexandrinischen Schule, erwähnt zu werden. Von den zahlreichen Ergebnissen ihrer Untersuchungen seien hier besonders die vorzügliche Beschreibung des Herzens und die Betonung des Unterschiedes zwischen Arterien und Venen hervorgehoben. Ihre anatomischen Studien betrieben sie an menschlichen Leichen; physiologische Erhebungen sollen sie an den zum Tode Verurteilten angestellt haben.

Nach Ansicht des ERASISTRATOS gelangt das „Pneuma“ als Vermittler der Lebenstätigkeit aus der Lunge in das linke Herz und von hier als „Lebenspneuma“ durch die Arterien in den ganzen Körper, bzw. als „Seelenpneuma“ in das Gehirn. Ersteres ist für die vegetativen Funktionen, letzteres für Empfindung und Bewegung verantwortlich.

Die Arterien sind demnach Pneumawege, sie führen also Luft, während allein die Venen Blut enthalten, das sich in die Organe ergießt, hier zum „Parenchym“ wird und daher nicht zum Herzen zurückkehrt. Beide Wege — Arterien und Venen — haben untereinander zwar Verbindungen, die sich jedoch nur unter pathologischen Bedingungen öffnen, Pneuma mischt sich dann mit Blut, wodurch die verschiedensten Krankheiten hervorgerufen werden.

Der alle anderen überragende Arzt des Altertums, dessen System der Medizin den abendländischen Ärzten bis in die Neuzeit als Richtschnur ihres Denkens und Handelns galt, war der Grieche CLAUDIUS GALENUS, der von 129—199 n. Chr. vorwiegend in Rom lebte. „Ein Mann von staunenswerter Gelehrsamkeit, voll Talent und Geist, errang er sich durch seine Schriften, welche durch vierzehn Jahrhunderte als Gesetzbücher der anatomischen und heilkundigen Wissenschaft galten, den lange Zeit unangetasteten Ruhm der höchsten medizinischen Autorität, an deren Aussprüche es nichts zu bessern, nichts zu ändern gäbe“, schreibt Hyrtl über Galenus.

Wie sehr seine Autorität in die Jahrhunderte hineingewirkt hat, zeigt u. a. das zähe Festhalten auch an seinen Vorstellungen von der Blutbewegung. Er schuf die Lehre von den drei Digestionen. Danach entsteht aus der Nahrung im Verdauungssystem durch die erste Digestion zunächst der Chylus. Dieser gelangt durch die Pfortader in die Leber, wo durch die zweite Digestion ein Säftegemisch, bestehend aus Blut, Schleim, heller und dunkler Galle gebildet wird. Aus der Leber, die zugleich auch das Zentrum der Blutbewegung ist, strömt das Säftegemisch z. T. durch die Venen in den Körper, z. T. durch die untere Hohlvene auch in das Herz, und aus dessen rechter Hälfte in gereinigtem Zustand in die Lunge bzw. durch die obere Hohlvene auch zum Kopf und in die oberen Extremitäten. Der Rest des Säftegemisches gelangt aber durch von ihm in der Herzscheidewand angenommene Poren zum linken Herz, wird hier mit Pneuma gemischt und ergießt sich nunmehr über die Aorta und die Arterien in die Organe und Gewebe. Die Strömung des Säftegemisches vollzieht sich demnach sowohl in den Arterien als auch in den Venen nur zur Peripherie hin, also nur in einer Richtung. Von einem Kreislauf in den Gefäßen ist demnach auch bei Galen noch keine Rede. Das erscheint um so erstaunlicher, als er doch selbst die Aktionen des rechten und linken Herzens am Lebenden beobachtet und zahlreiche Experimente auch am Gefäßsystem durchgeführt hatte. Selbst das Zustandekommen des Pulses deutete er falsch, indem er ihn auf die abwechselnde Kontraktion und Dilatation der Gefäße zurückführte.

Mit dem Niedergang des römischen Weltreiches fand die Medizin, zunächst in Byzanz eine Pflegestätte, geriet dann aber in den Bereich des islamischen Kulturkreises und damit unter den Einfluß der Perser und Araber. Sie übernahmen die Werke des ARISTOTELES, HIPPOKRATES und GALEN und übersetzten diese ins Arabische. Wesentliche eigene schöpferische Leistungen hatten sie jedoch nicht aufzuweisen. Seit dem 11. Jahrhundert gelangten diese Schriften über Salerno wieder in das Abendland. CONSTANTINUS AFRIKANUS übersetzte sie

in der Abtei von Monte Casino aus dem Arabischen ins Lateinische und gab sie so dem abendländischen Kulturkreis zurück.

Auch zu jener Zeit herrschte nach wie vor nahezu unumschränkt die Lehre des Galen und hemmte manchen Ansatz zu selbständigem Forschen. So sehr galt immer noch seine Autorität, daß man eher geneigt war, eine im Laufe der Zeit stattgefundene Änderung im Bau des Menschen anzunehmen, als einen ihm unterlaufenen Irrtum zuzugeben. Erst die geistige Erneuerung der Renaissance und des Humanismus machten den Weg zur kritischen Sichtung auch des bis dahin in der Anatomie Bekannten frei. Trotzdem aber waren auch im 15. und zum Beginn des 16. Jahrhunderts dem immer noch vorwiegend empirischen Ausbau der Anatomie nur enge Grenzen gesetzt. Zur grundlegenden Umgestaltung dieser mittelalterlichen, vorwiegend spekulativen Anatomie mußten erst neue Wege der Forschung gefunden und auch beschritten werden.

Den Mut zu solcher Tat fand der Reformator der Anatomie ANDREAS VESALIUS, der von 1514—1564 lebte. Seine Werke lassen erkennen, daß er zwar zunächst auch von Galen ausging, sich dann aber von ihm abwandte und schließlich nur das durch eigenhändige Sektion an der Leiche selbst Erarbeitete gelten ließ. Vesal war es, der durch sein Wirken die Anatomie zu einer der entscheidenden Grundlagen der Gesamtmedizin erhob.

Unzählige auch heute noch hieb- und stichfeste anatomische Befunde hat er in seinem großen Werk „De humani corporis fabrica“ niedergelegt. Er war es auch, der entgegen der bis dahin herrschenden Meinung die vollkommene Trennung des Herzens in zwei Hälften erkannte und damit eine der notwendigen Voraussetzungen für die spätere Entdeckung des Blutkreislaufes schuf. „Denken war damals gefährlich“, schreibt HYRTL, und es ist kein Wunder, daß Vesalius, dieser Revolutionär der Anatomie, sich den Unwillen, ja den Haß seiner Fachkollegen zuzog. Immerhin konnte er den von ihm eingeleiteten Aufstieg der Anatomie noch miterleben.

Zahlreiche berühmt gewordene Anatomen, namentlich der italienischen Schule, folgten seinen Spuren. Neuentdeckungen waren beinahe an der Tagesordnung, die beschreibende Anatomie erlebte Triumphe und mit dem Ausgang des 16. Jahrhunderts war ein großer Teil dessen, was man in der Anatomie mit den damaligen Mitteln präparatorisch darstellen konnte, in seiner groben Form erkannt und beschrieben. Wo die grobpräparatorische Beschäftigung an der Leiche — also die Erforschung der Morphologie der Organe — verhältnismäßig bequem und sicheren Erfolg versprach, war der Anreiz, sich auch Gedanken über deren Funktion zu machen, relativ gering. Immer noch herrschten auch in der Lehre von der Funktion der Blutgefäße die Vorstellungen der Alten.

Und trotzdem befand sich die Entdeckung des Blutkreislaufes sozusagen in Vorbereitung, denn man folgte auch hier nicht mehr ganz der Galen'schen Lehre, sondern versuchte, eine mit den eigenen Beobachtungen, Überlegungen und auch bescheidenen Experimenten besser übereinstimmende Vorstellung von der Funktion des Herzens

und der Blutgefäße zu erlangen. Die großen Bahnen des Gefäßsystems waren damals in der Hauptsache bekannt. Durch die Entdeckung der den Rückstrom des Blutes zur Peripherie verhindernden Venenklappen durch EUSTACHIUS und FABRICIUS AB AQUAPENDENTE u. a. mußte auch die frühere Ansicht, daß das Blut in den Venen in beiden Richtungen fließt, revidiert werden. Zudem erkannte MIGUEL SERVETO, daß das Blut aus dem rechten Herzen durch die Lungenarterie in die Lunge und von da mit Luft vermischt, in unserem Sinn mit Sauerstoff angereichert, durch die Lungenvenen dem linken Herzen zufließt und beschrieb damit unbewußt den kleinen oder Lungenkreislauf.

Das 17. Jahrhundert, das reich an anatomischen, besonders auch das Blutgefäßsystem betreffenden Erkenntnissen war, brachte dann schließlich auch die richtige Deutung der Blutbewegung, und damit zugleich auch die Voraussetzung für das Verstehen der morphologischen Grundlagen des Blutkreislaufes.

Im Jahre 1628 veröffentlichte der englische Anatom WILLIAM HARVEY in Frankfurt am Main unter dem Titel: „*Exercitatio anatomica de motu cordis et sanguinis in animalibus*“ seine Entdeckung des Blutkreislaufes. Logische Verwertung bekannter anatomischer Befunde, aber auch bis dahin kaum bekanntes Experimentieren an Versuchstieren wiesen HARVEY zu seiner Entdeckung den richtigen Weg. Er erkannte den Widerspruch, der zwischen der antiken Lehre von der Blutbewegung und den anatomischen Tatsachen und experimentellen Erfahrungen am Blutgefäßsystem klaffte. Nach GALEN sollte ja das Blut immer wieder in der Leber neu entstehen und im Körper fortwährend verbraucht werden. HARVEY hingegen ermittelte, daß das Herz allein in einer Stunde die dem Körpergewicht eines Menschen entsprechende Blutmenge in die Arterien pumpt. Das ist aber — so stellte er fest — nur dann möglich, wenn sich das Blut im Kreise bewegt, das heißt im Kreislauf über die Arterien durch die Venen dem Herzen zurückgebracht wird. Die Existenz der Blutkapillaren, die damals noch unbekannt waren, ahnte er intuitiv voraus, indem er angab, daß das Blut über feine Gewebslücken und Spalten aus den Arterien in die Venen gelangt. Die Entdeckung der Haargefäße durch MALPIGHI (1662) vier Jahre nach dem Tode Harveys, brachte die glänzende Bestätigung seiner Annahme, das von ihm nur vorausgedachte Glied des Kreislaufes.

Wie VESALIUS, so fand auch HARVEY seine heftigen Widersacher; um die Mitte des 17. Jahrhunderts jedoch hatte sich seine Lehre vom Blutkreislauf durchgesetzt. Der große HALLER nannte Harveys Buch über den Blutkreislauf „*libellus aureus*“ und seinen Autor „*physiologiae lumen, Angliae immortale decus*“.

Die Entdeckung HARVEYS, besonders aber die von ihm angewandte experimentelle Methodik, gab der Physiologie mächtigen Auftrieb; zugleich empfing aber auch die Anatomie Anstoß zu neuen Forschungen. Neben der Erforschung des Herzens war nun auch das gesamte periphere Blutgefäßsystem Gegenstand eingehender Untersuchungen, die bis in unsere Zeit hinein andauern und uns noch lange beschäftigen werden, denn auch dieses Kapitel der Anatomie birgt nach wie

vor zahlreiche ungelöste Probleme und verspricht immer wieder neue, manchmal auch überraschende Ausbeute. Wie in allen anderen Teilgebieten der Anatomie, so reifen auch hier die Ergebnisse und neuen Einsichten nur in mühevoller und zeitraubender Kleinarbeit, deren Erfolg zudem nicht zuletzt von dem jeweiligen Stand der zur Verfügung stehenden technischen Hilfsmittel und Verfahren abhängig ist, wie anschließend gezeigt werden soll:

So waren z. B. bis in das 17. Jahrhundert hinein Messer und Haken — meist von beträchtlicher Größe — fast die einzigen Instrumente der Anatomen, und ihre Tätigkeit wurde mit Recht als „excarnare“ oder „anatomizare“ bezeichnet. Erst ein kleines Instrument, das wir uns heute aus unserem Instrumentarium nicht mehr wegzudenken vermögen, die Pinzette, lieferte einen wesentlichen Anteil an den Fortschritten der Anatomie. Denn erst durch deren Zuhilfenahme, so wird festgestellt, wurde das rohe „excarnare“ in ein verständiges, ergebnisreiches „praeparare“ umgewandelt. Und dieses wichtige Instrument wird erstmalig, 1626, von dem Anatomen VIDIUS erwähnt und abgebildet. zur gleichen Zeit also, da HARVEY den Blutkreislauf entdeckte.

Zu jener Zeit waren alle größeren, ohne Vorbehandlung dargestellten Blutgefäße in der Hauptsache erkannt und beschrieben; es fehlte aber immer noch die Kenntnis von deren feinerer Verzweigung und Anordnung. Hier Wandel zu schaffen, schien um so notwendiger, als erst die Darstellung auch der komplizierten Gefäßarchitektur der Organe es ermöglichte, deren Organisation und Funktion weiter zu erforschen.

Wie die Alchimisten nach dem Stein der Weisen, so suchten daher die Anatomen seit Jahrhunderten, und sie tun es auch heute noch, nach dem Verfahren zur möglichst vollkommenen Darstellung der Blutgefäße. Im Erfolg den Alchimisten überlegen, glichen sie zeitweilig jedoch jenen in der Geheimniskrämerei. Die ersten Versuche, die Blutgefäße der Präparation zugänglich zu machen, bestanden zunächst in dem Einblasen von Luft und dem Einspritzen von gefärbtem und ungefärbtem Wasser.

Einen wesentlichen Fortschritt der Darstellung von Blutgefäßen bedeutete die Verwendung gerinnender Injektionsstoffe. SWAMMERDAM und DE GRAAF gebrauchten dazu Blut oder Milch, die sie anschließend zur Gerinnung brachten. Später folgten als Injektionsmittel Leim bzw. Gelatine, Guttapercha und in neuerer Zeit Kautschukpräparate. Die Brauchbarkeit dieser und ähnlicher Verfahren findet jedoch da seine natürliche Grenze, wo die Blutgefäße so klein werden, daß sie selbst mit peinlichster Sorgfalt und größtem Geschick mit Messer und Pinzette sich nicht mehr darstellen lassen.

So groß nun aber das Interesse der deskriptiven und der topographischen Anatomie an den mit den erwähnten Methoden darstellbaren Blutgefäße gewesen sein mag, so wichtig war aus dem bereits erwähnten Grunde die Erforschung auch des *organeigenen* Gefäßsystems. Und so ist es verständlich, daß man sich auch weiterhin bemühte, Methoden zur Darstellung auch dieses Gefäßbereiches aus-

findig zu machen. Niederländische Anatomen ersannen schließlich ein solches Verfahren. Dieses bestand darin, daß die Blutgefäße zunächst mit leicht schmelzbaren Harz- oder Wachsmassen injiziert wurden. Anschließend brachte man alle Organteile zur Auflösung, so daß am Ende nur der Ausguß der Gefäße übrig blieb, wodurch bereits ein teilweiser Einblick auch in die feinere Gefäßarchitektur der Organe vermittelt werden konnte.

Ein Meister dieser sogenannten Korrosionsanatomie war der Professor der Anatomie und Botanik zu Amsterdam FRIEDRICH RUYSCH, der vom Jahre 1638—1731 lebte. Seine Präparate waren weltberühmt, sein Museum galt als achtes Weltwunder, und er selbst wurde von der Pariser Akademie unter ihre vierzig Unsterblichen aufgenommen. Der erstaunliche Reichtum der Organe an feinsten, mit seiner Methode dargestellten Blutgefäßen, veranlaßte ihn zu der übertriebenen Behauptung „totum corpus ex vasculis!“

Peter der Große, der sich zu jener Zeit in Holland aufhielt, war wohl der prominenteste Bewunderer der Ruysch'schen Präparatensammlung, die er einschließlich der Injektionsrezepte für 30 000 Goldgulden erwarb und nach Petersburg bringen ließ. Eine zweite Sammlung kaufte König Stanislaus von Polen und schenkte sie der Universität Wittenberg.

Auch in der Folgezeit gibt es kaum einen Anatomen, der sich nicht mit mehr oder weniger Erfolg um die Vervollkommnung der Technik der Gefäßinjektion bemüht hätte. In neuerer Zeit war einer der erfolgreichsten unter ihnen zweifellos JOSEF HYRTL, der geistreiche, vielseitig gebildete, in mehrfacher Hinsicht zugleich auch originelle Wiener Anatom, der in der 2. Hälfte des vorigen Jahrhunderts wirkte.

In seinem Urteil auch für die Kollegen anderer Disziplinen nicht immer bequem, war er als erfolgreicher Forscher, zugleich auch ein Meister in der Präparierkunst. Wie hoch er selbst diese Tätigkeit des Anatomen veranschlagt, mag aus folgenden Sätzen ersehen werden: „Nirgends ist die Arbeit des Geistes, des Denkens, so abhängig von der Arbeit der Hände wie in unserer Wissenschaft, welche auf ein Handwerk im reinsten Sinne des Wortes, gepropft ist und durch die Arbeit groß gezogen wurde. Es gibt kein Denken in ihr, ohne Zerlegen, Greifen und Sehen.“ Mit Leidenschaft und großem Erfolg betrieb er auch die Korrosionsanatomie und legte die Ergebnisse dieser Arbeiten in einem wundervoll ausgestatteten Atlas nieder. Seine Präparate brachten ihm auf der Weltausstellung in London und Paris das Prädikat „bewundernswert“ und zudem große Preise ein.

Wie für alle Zweige der Biologie, so bedeutete die Erfindung und die Vervollkommnung des Mikroskopes sowie der Ausbau der histologischen Technik und Methodik auch für alle Fächer der Medizin einen gewaltigen Fortschritt. An die Frühzeit der mikroskopischen Anatomie im 17. Jahrhundert erinnern die Namen: MALPIGHI, MEIBOM, PEYER, BRUNNER und später LIEBERKÜHN, um nur einige zu nennen. Die Blütezeit der mikroskopischen Anatomie fällt jedoch in das 18. Jahrhundert, als vor allen anderen HENLE und KÖLLIKER die grundlegenden Untersuchungen über den Feinbau der Gewebe und

Organe lieferten, wodurch auch die Kenntnisse über den Bau des Blutgefäßsystems im mikroskopischen Bereich wertvolle Ergänzung und Vertiefung erfuhren.

Historisch bedingt war bis in das vorige Jahrhundert hinein die Erforschung auch der *Lebensvorgänge*, das heißt die „Physiologie“, eine Domäne der Anatomen und bis dahin im Grunde nicht mehr und nicht weniger als ein bloßes „Spekulieren über anatomische Tatsachen“ (Rádl). Erst als die Zeit reif war, unter Anwendung und Auswertung physikalischer und chemischer Erkenntnisse und Methoden die Lebensvorgänge der Organe und Organsysteme experimentell zu erforschen, waren auch der Physiologie die Wege zum Fortschritt eröffnet. Vorerst lagen aber beide Fächer immer noch in den Händen der Anatomen und nur wenige universelle Geister wie PURKINJE, JOHANNES MÜLLER, CARL LUDWIG und der Franzose CLAUDE BERNARD, vermochten in beiden Disziplinen Hervorragendes zu leisten.

Die Fülle der andrängenden, schier unübersehbaren Probleme machte nunmehr aber die Trennung beider Fächer notwendig. In der ersten Hälfte des vorigen Jahrhunderts wurden in Deutschland die ersten selbständigen Lehrstühle für Physiologie errichtet. Und von da ab datiert nun auch der Ausbau der Lehre von den Funktionen des Kreislaufsystems, die, zwar immer noch reich an ungelösten Problemen, in ihrer heutigen Form zu einem Grundpfeiler aller klinischen Fächer geworden ist.

Es könnte nun der Eindruck entstehen, als ob die Anatomie, nachdem die Physiologie sich selbständig gemacht hatte, sich völlig von der Betrachtung der *Lebensvorgänge* abgewendet und so auch die Erforschung des Kreislaufgeschehens allein in die Zuständigkeit der Physiologie entlassen hätte. Diese Annahme trifft nicht zu, bzw. ist, — wie gezeigt werden soll — nur mit gewisser Einschränkung richtig.

Schon HYRTL hatte, wenn auch in seiner zu Übertreibungen neigender Art festgestellt: „Es kann der Anatomie nicht zugemutet werden, sich allein mit der Äußerlichkeit der Organe abzugeben. Ihre Tendenz ist der Enträtselung der Funktion zugewendet, ihr Prinzip ist Physiologie.“ Nach ihm besteht die Trennung der beiden Disziplinen zwar „de facto“ aber nicht „de jure“.

Diese zweifellos übertriebene Zielsetzung der Aufgaben der Anatomie wurde von dem Würzburger Anatomen BRAUS und vor allem von dem Marburger Anatomen BENNINGHOFF und seinen Schülern in neuerer Zeit auf ein sachlich vertretbares und auch für die Physiologie förderliches Maß reduziert und zum Leitgedanken umfangreicher und fruchtbarer Untersuchungen gemacht. Sie haben als die Begründer der neuzeitlichen funktionellen Anatomie an zahlreichen Beispielen gezeigt, daß *Form* und *Funktion* untrennbar sind, und daß damit auch die Lehre von der Form, die Anatomie und die Lehre von der Funktion, die Physiologie, nur im Zusammenwirken sinnvoll und mit Erfolg betrieben werden können.

Ein vortreffliches Beispiel für die Richtigkeit und die Fruchtbarkeit solcher Betrachtungsweise liefert uns die morphologische Analyse des Blutgefäßsystems. Hier läßt sich nämlich zeigen, daß die ein-

zelen Abschnitte dieses in sich geschlossenen „funktionellen Systems“ sowohl hinsichtlich ihrer Gestalt als auch ihrer Struktur, also des inneren Gefüges, bis ins Äußerste der Funktion angepaßt sind. Zum Beweis seien einige konkrete Beispiele angeführt:

Schon am arteriellen Schenkel des Kreislaufes lassen sich drei Abschnitte unterscheiden, deren bauliche Besonderheiten in deutlicher Übereinstimmung zu ihrer unterschiedlichen Funktion stehen. So bestehen die herznahen Arterien, insbesondere aber die Aorta, vorwiegend aus elastischen Elementen von reversibler Dehnbarkeit. Durch die Elastizität ihrer Wandung erhält vor allem die Aorta die hämodynamisch wichtige, energiespeichernde *Funktion eines „Windkessels“*, und kann so den vom Herzen herkommenden, stoßweisen Zustrom des Blutes in einen nahezu gleichmäßigen Abstrom umwandeln.

Die nachfolgenden Arterien übernehmen das Blut und geben es als *Verteilterröhren* an ihre Stromanlieger weiter. Von den vorhin beschriebenen, herznahen Arterien unterscheiden sie sich grundsätzlich durch ihr Baumaterial. Zwar besteht ihre Wand wie jene der vorher genannten Arterien auch aus drei Schichten, die mittlere Schicht aber verliert, je weiter vom Herzen entfernt, mehr und mehr die elastische Bauweise; hier herrscht die glatte Muskulatur als aktiv wirksames Bauelement vor.

Diese Arterien sind daher in der Lage, von den als Vasomotoren bezeichneten Nerven gesteuert, sich aktiv in das Kreislaufgeschehen einzuschalten, und können so durch abwechselnde Weit- bzw. Engstellung ihres Lumens das Druckgefälle in den Arterien regeln und zudem die dem jeweiligen Stoffwechselbedürfnis der Organe Rechnung tragende Dosierung der zuströmenden Blutmenge in gewissen Grenzen regeln. Die funktionelle Struktur der Bauelemente dieser Arterien vom muskulösen Typ gibt ihnen ferner die Möglichkeit, den mannigfaltig auf sie einwirkenden Kräften, wie Längs- und Ringspannung und Längsdehnung entsprechend zu begegnen. Um die ungestörte Funktion dieser Arterien sicherzustellen, sind sie nachweislich so in ihre Umgebung eingebaut, daß eine grobmechanische Beanspruchung auf Zug und Druck weitgehend vermieden wird. Andererseits aber ist es erwiesen, daß, wie an anderer Stelle noch zu zeigen ist, diese unter pulsatorischem Druck stehenden Arterien selbst sehr wohl einen mechanischen Einfluß auf ihre Umgebung auszuüben vermögen.

Entscheidend für die Durchströmung der Organe mit Blut sind jedoch jene Abschnitte des arteriellen Systems, die den Blutkapillaren unmittelbar vorgeschaltet sind und daher als *Präkapillaren* bzw. *Arteriolen* bezeichnet werden. Während die Arterien auch bei maximaler Kontraktion ihr Lumen nicht völlig verschließen können, vermögen die Arteriolen auf Grund ihrer Struktur bis zum völligen Verschuß hinreichende Querschnittsänderungen zu vollziehen und können so die dem betreffenden Organ zufließende Blutmenge ausschlaggebend beeinflussen. Man hat sie dieser Funktion entsprechend auch als „*Stellröhren*“ bezeichnet.

Den Stoffaustausch zwischen dem Blut und den Geweben bzw. den Zellen vermitteln allein die Blutkapillaren. Ihre unterschiedliche Zahl ist zugleich ein Test für den Blutbedarf der verschiedenen Organe. In der hinsichtlich der Blutversorgung sehr anspruchsvollen Skelettmuskulatur hat man z. B. beim Pferd in einem qmm Muskulatur 1400, beim Hund 2600 Kapillaren gezählt.

Diese hauchfeinen Gebilde zeigen im Lichtmikroskop einen ganz einfachen, fast möchte man sagen, harmlosen Aufbau. Sie bestehen nämlich nur aus einer Lage ganz flacher Zellen, die von einem Grundhäutchen abgedeckt sind. Diesen können eigentümlich verzweigte Zellen, die sogenannten Pericyten aufgelagert sein. Und doch stellt gerade dieser Gefäßabschnitt sowohl dem Histologen wie auch dem Physiologen noch nicht gelöste, äußerst komplizierte Fragen.

So weiß man, um nur einige Beispiele zu nennen, daß die mit feinsten Nervenendigungen ausgestatteten Kapillaren auf bestimmte Reize hin sich bis zum Verschwinden ihres Lumens verengen können; auf welche Weise sie solches zustande bringen, darüber gehen die Meinungen noch auseinander. Es ist auch bekannt, daß die weißen Blutzellen aus den Kapillaren auswandern können; wo und wie sie dabei durch die Wand der Haargefäße hindurchschlüpfen, auch darüber bestehen verschiedene Ansichten. Auch die entscheidend wichtige Frage, welche Rolle der Kapillarwand bei dem Stoffaustausch in beiden Richtungen zukommt, ist noch zu einem guten Teil unbeantwortet; denn es konnte u. a. gezeigt werden, daß in funktioneller Hinsicht Kapillare durchaus nicht gleich Kapillare ist und daß sie infolgedessen in den verschiedenen Organen im Stoffaustauschgeschehen recht unterschiedliche Fähigkeiten entwickeln.

Und wieder ist es die Morphologie, die auch hier klärend einzugreifen versucht, und zwar mit dem schwersten ihr z. Z. zur Verfügung stehenden Geschütz, mit dem Elektronenmikroskop. Wie schwierig aber die Klärung und Deutung der Ultrastruktur der Kapillarwand ist, und hierauf zielen diese Untersuchungen ab, mag folgende interessante Feststellung zeigen:

Eine nur einige Seiten lange, zusammenfassende Abhandlung zu diesem Thema enthält zahlreiche vorsichtige bzw. einschränkende Redewendungen, von denen einige stellvertretend für die übrigen zitiert seien. Da heißt es: *es ist fraglich — darüber ist nichts Sicheres bekannt — man kann annehmen — möglicherweise — man behauptet — es ist vorstellbar — es erscheint diskutabel — es ist die Annahme gestattet*, usw.

Und doch steht bereits fest, daß von dieser neuartigen und daher z. Z. viel geübten Methode zur Erforschung der *Ultrastrukturen* der Zellen und Gewebe, wenn auch nicht die letzten, so doch tiefe Einblicke auch in die Funktionen der Kapillarwand im Dienste des Stoffaustausches erzielt wurden und auch weiterhin zu erwarten sind. Jetzt schon haben elektronenmikroskopische Untersuchungen u. a. gezeigt, daß der Feinbau der Blutkapillaren viel komplizierter ist, als uns das Lichtmikroskop bisher lehrte, und diese Befunde lassen den

Schluß zu, daß ihre Zellen auch über im Dienste des Stoffaustausches stehende elektiv biologische Kräfte verfügen.

Wenden wir uns nunmehr der Betrachtung des *venösen Schenkels* des Kreislaufes zu, so kann einleitend festgestellt werden, daß den Venen sowohl von den Anatomen, wie auch den Physiologen, im allgemeinen zu wenig Aufmerksamkeit zuteil wird. Ihnen kommt im Kreislaufgeschehen sicherlich eine viel größere Bedeutung zu, als gemeinhin angenommen wird. Auffallend ist schon die Tatsache, daß die Venen ein dem arteriellen System gegenüber viel größeres Fassungsvermögen besitzen. Denn sie neigen zur Bildung von sogenannten Kollateralen und Geflechten, deren Bedeutung mit der Aufgabe von Neben- bzw. Abstellgleisen verglichen werden kann. Sie sind notwendig, um die Verschiebung und Verlagerung größerer Blutmengen im Körper störungsfrei durchführen zu können. Während die Wand der größeren Venen im allgemeinen arm bzw. frei von Muskulatur ist, sind im Gegensatz hierzu zahlreiche mittelgroße Venen mit starker Muskulatur ausgestattet. Diese können so die übermäßige Zunahme an sogenanntem „toten Raum“ und damit den Anstieg der ineffektiven Blutmenge verhindern. Im Gegensatz hierzu muß das Venensystem jedoch auch beträchtliche Mengen an Blut speichern können, denn nicht die gesamte Blutmenge befindet sich ständig im Umlauf. Auch zu dieser Funktion sind die Venen befähigt. Sie können besonders in bestimmten Organen bzw. Körperregionen Blut deponieren, von wo aus im Bedarfsfalle eine Entspeicherung entsprechender Blutmengen möglich ist. Zu diesen sogenannten Blutspeichern gehört vor allem das Venensystem der Milz, der Leber, der Lunge und der Haut, aber auch die Venen des Magen-Darmkanals.

Um den kontinuierlichen Rückstrom des Blutes zum Herzen sicherzustellen, sind die Venen mit morphologisch gut erfaßbaren, hämodynamisch wirksamen Einrichtungen ausgestattet, zu denen insbesondere die Venenklappen gehören. Diese machen die von außen auf die Venen einwirkenden, ungerichteten Kräfte dem Bluttransport zum Herzen hin nutzbar und wirken zugleich den auf das Blut zentrifugal gerichteten, hydrostatischen Kräften entgegen. Obwohl die Klappen in den Venen seit Jahrhunderten bekannt sind, sind sie, wie dies auch neuere Untersuchungen zeigen, in ihrer Bedeutung vor allem hinsichtlich der besonderen Strömungsverhältnisse in den verschiedenen Organen noch längst nicht ausreichend durchforscht. Solche Untersuchungen aber sind durchaus geeignet, manche klärende Hinweise funktioneller Art zu geben.

Auch für weitere, den Morphologen bekannte, Sondereinrichtungen in den Venen steht die funktionelle Deutung noch aus. Hierher gehören z. B. in der Venenwand vorhandene Längsmuskelwülste, knopfartige, in das Lumen vorspringende Intimaverdickungen sowie die Einlagerung sogenannter epitheloider Muskelzellen, die das Gefäßlumen einengen bzw. verschließen können, und ebenso auch die in zahlreichen Organen nachgewiesenen sogenannten Drosselvenen,

Venen, die in bestimmten Abständen mit ringförmigen Schließmuskel ausgestattet sind.

Seit den Tagen HARVEYS und MALPIGHIS galt es als unumstößliches Gesetz, daß die Strömung des Blutes vom Herzen durch die *Arterien* auf dem Weg über das breite Strombett der *Kapillaren* in die *Venen* und durch diese wieder zum Herzen zurück erfolgt. Als HYRTL und SUCQUET schon vor etwa 100 Jahren daran zu zweifeln wagten, ob das Blut den Weg aus den Arterien zu den Venen auf jeden Fall über die Kapillaren nehmen müsse, stießen solche Überlegungen auf heftige Ablehnung. Ihre Bedenken rührten daher, daß Injektionsergebnisse an Blutgefäßen ihnen gezeigt hatten, daß bis dahin noch unbekannte Gefäßstrecken vorhanden sein müssen, die die Arterien mit den Venen unter Umgehung der Kapillaren direkt verbinden.

Zur gleichen Annahme mußten auch die klassischen Versuche CLAUDE BERNARDS führen, der nachgewiesen hatte, daß durch Reizung der Nerven der Unterkieferdrüse die Ausflußgeschwindigkeit des Blutes aus deren Venen zunahm, das Blut fast so hellrot wie in den Arterien wurde und schließlich Pulsation zeigte, die mit dem Arterienpuls synchron verlief. Mit diesem von einem Physiologen erstmalig experimentell nachgewiesenen Phänomen deckten sich auch die im Jahre 1840 von dem Arzt Julius Robert MEYER, dem Entdecker des Gesetzes von der Erhaltung der Energie, gemachten klinischen Beobachtungen. Als Schiffsarzt in den Tropen mußte er bei Matrosen Aderlässe durchführen. Hierbei fiel ihm auf, daß das Blut aus der angestochenen Vene hellrot und mit dem Arterienpuls synchron pulsierend ablief.

Im Experiment von BERNARD war es die direkte Reizung der Nerven, im Falle von ROBERT MEYER die hohe Außentemperatur, die die Arterialisierung des Venenblutes und zugleich auch die *durchschlagenden Venenpulse* verursacht hatten. In beiden Fällen mußten Gefäßkurzschlüsse, die das Blut aus den Arterien direkt in die Venen umleiteten und so die beschriebenen Erscheinungen veranlaßten vermutet werden. Noch fehlte aber der objektive Nachweis solcher unmittelbarer Verbindungen zwischen Arterien und Venen.

Dieser Nachweis wurde erst erbracht, als HOYER und GROSSER es erstmalig gelang, die Existenz dieser als *arterio-venöse* Anastomosen bezeichneten Gefäßkurzschlüsse mikroskopisch nachzuweisen. Die in der Folgezeit besonders von SCHUMACHER, SPANNER, CLARA, WATZKA, TISCHENDORF, STAUBESAND und zahlreichen anderen durchgeführten Untersuchungen haben darüber hinaus den einwandfreien Beweis erbracht, daß solche die arteriellen Hochdruck- mit den venösen Niederdruckleitungen verbindende Gefäßkurzschlüsse in zahlreichen Körperregionen und Organen vorhanden sind. Es ist hier nicht der Ort, auf die unterschiedliche Form und den unterschiedlichen, z. T. sehr komplizierten Bau dieser im mikroskopischen Bereich liegenden Gefäßabschnitte einzugehen. Hingegen sollen einige tatsächlich nachgewiesene bzw. aus dem Ort des Vorkommens und ihrem Bau mit

der gebotenen Vorsicht ableitbare Funktionen der arterio-venösen Anastomosen erwähnt werden.

Vorausgeschickt sei, daß die arterio-venösen Anastomosen sowohl auf nervösem Wege, als auch durch körpereigene und körperfremde Stoffe, ebenso aber auch durch physikalische Reize beeinflufßbar sind. Auf diese Reize antworten sie entweder mit Verschuß ihres Lumens, wodurch das Blut auf den normalen Weg über die Kapillaren verwiesen wird oder die Anastomosen öffnen sich und lassen das Blut auf dem Weg des geringeren Widerstandes aus der Arterie in die Vene hinüberfließen, wobei die nachgeschalteten Kapillaren im wahren Sinne des Wortes leer ausgehen.

Wenn auch, wie LUCKNER noch 1955 sagt, die Physiologen „von dem Geschenk, das ihnen die Anatomen mit den a.—v. Anastomosen machten“ lange Zeit nicht viel gehalten haben „und erst, als dieses Geschenk immer gewichtiger und immer dringender angeboten wurde“ anfangen, „sich damit zögernd und zugleich gehemmt durch die methodischen Schwierigkeiten des Vorhabens zu beschäftigen“ sind wir trotzdem jetzt schon in der Lage, einige verbindliche Aussagen über die Funktionen dieser Gefäßkurzschlüsse zu machen. So kann z. B. als sicher angenommen werden:

1. daß die a.—v. Anastomosen nachhaltige Wirkung im Kreislaufgeschehen haben, indem sie durch direkte Umleitung des Blutes aus dem arteriellen in den venösen Schenkel des Kreislaufes dessen Rückstrom zum Herzen fördern;
2. daß die a.—v. Anastomosen bei zu großem Blutangebot die nachgeschalteten Kapillaren entlasten können und
3. daß die a.—v. Anastomosen das Maß der Leistungen einzelner Organe direkt beeinflussen können.

Diese wenigen Beispiele sollen uns aber nicht darüber hinwegtäuschen, daß die a.—v. Anastomosen in ihrer baulichen Vielgestaltigkeit sowohl in morphologischer als auch vor allem in physiologischer Hinsicht noch eine Fülle ungelöster Probleme in sich bergen.

Mit solchen Fragen hat sich unter anderem auch der Kliniker HAVLICEK ausführlich befaßt und auf die klinische Bedeutung dieser Gefäßverbindungen für den peripheren Kreislauf aufmerksam zu machen versucht. Er ging dabei von dem Gedanken der *Leistungs-zweiteilung* des Kreislaufes und von dem Begriff der *Vasa publica* und *Vasa privata* aus. An bestimmten Organen wie z. B. dem Herz und der Lunge existieren solche im Dienste des Organes selbst stehende *Vasa privata* neben den im Dienste des Gesamtorganismus stehenden *Vasa publica*. Hier ist die Leistungszweiteilung des Gefäßsystems klar ersichtlich. An anderen Organen hingegen, die über nur eine Strombahn verfügen, wird die Leistungszweiteilung, d. h. die Sicherstellung nicht nur der Funktion, sondern auch der Ernährung — sozusagen die Selbsterhaltung — des Organes nach der Annahme HAVLICEKS durch „Selbststeuerung“ auf dem Weg über a.—v. Anastomosen erreicht.

Und noch ein letzter Hinweis, daß die Morphologie nach wie vor bemüht sein muß und auch mit Erfolg bemüht sein kann, durch An-

wendung immer neuer Verfahren und Methoden neue, über die allgemeinen Gesetzmäßigkeiten im Bau der Organe hinausgehende Erkenntnisse zu gewinnen, die uns zugleich neue und wichtige Einblicke in deren Funktion möglich machen, vor allem auch dann, wenn diese Untersuchungen auf ein möglichst umfangreiches, vergleichend anatomisches Material ausgedehnt werden.

Lange Zeit hindurch erstreckten sich die Untersuchungen der Blutgefäße zunächst auf die makroskopisch darstellbaren Arterien und Venen und erst später auf ihr Verhalten auch im mikroskopischen Bereich. Die letztgenannte Methode zwingt uns, kleine Stückchen von Organen zunächst in hauchdünne, der mikroskopischen Untersuchung zugängliche Schnitte zu zerlegen. Es ist jedoch außerordentlich schwer und zeitraubend, sich an Hand solcher Schnittbilder eine zutreffende räumliche Vorstellung von der Gefäßarchitektur, vor allem in deren mikroskopisch-makroskopischem Grenzbereich zu machen. „Aus Häcksel kann man keine Seile drehen“ sagt Benninghoff mit Recht. Man hat diesen schwierig zugänglichen, für unsere Vorstellungen von der Gesamtarchitektur und der Funktion der Organe wichtigen Bereich des Gefäßsystems als die „vernachlässigte Dimension“ bezeichnet.

Mit diesen Schwierigkeiten hängt es auch zusammen, daß — um nur ein Beispiel für viele zu erwähnen — unsere Kenntnisse von dem Blutgefäßsystem der Niere in entscheidenden Fragen noch Lücken aufweisen, obwohl Anatomen, Physiologen, Pathologen, Pharmakologen und Kliniker in aller Welt gerade über dieses so außerordentlich wichtige Organ bibliothekenfüllende Abhandlungen geliefert haben. Zum Beweis nur die Feststellung, daß ein vor Jahrzehnten erarbeitetes Grundschema der Blutgefäße der Niere mit geringfügigen Abweichungen in allen Lehrbüchern und einschlägigen Arbeiten erscheint und zwar stellvertretend für alle Arten, obwohl nachweislich bestimmte, auf die normale Funktion und die Pathologie der Niere sich beziehende Erkenntnisse mit den Vorstellungen, die uns dieses Gefäßschema vermittelt, nicht zur Deckung zu bringen sind.

Diese Lücken in unseren Kenntnissen von den Blutgefäßen ausfüllen zu helfen, galt auch meine Suche nach einer möglichst einfach zu handhabenden Methode, die uns die Möglichkeit bietet, die gesamte Gefäßarchitektur der Organe von den groben Blutgefäßen bis zu den Kapillaren hin und damit auch jenes als „vernachlässigte Dimension“ bezeichnete Gebiet möglichst vollkommen darzustellen. Es gelang mir schließlich, ein Verfahren auszuarbeiten, bei dem als Injektionsmittel erstmalig ein plexiglasähnlicher, polymerisierbarer Kunststoff Anwendung fand.

Die nach dieser, unter dem Namen Plastoidkorrosionsverfahren bekannten Methode verhältnismäßig mühelos und mit geringem Zeitaufwand herzustellenden Präparate von Blutgefäßen aller Größen sind geeignet, uns neue Einblicke auch in den mikroskopisch-makroskopischen Bereich der Gefäßarchitektur, also in deren „vernachlässigte Dimension“ zu geben. Die Tatsache, daß mein Verfahren in der Folgezeit von anderen Autoren neu entdeckt worden ist, spricht

für seine Brauchbarkeit. Wichtiger ist jedoch, daß diese Methode inzwischen die Voraussetzung für eine große Zahl von aufschlußreichen Untersuchungen über das Blutgefäßsystem geschaffen hat und solche auch für die Zukunft erwarten läßt, womit dann auch wieder einige Lücken in unseren Kenntnissen über die Gefäßarchitektur der Organe ausgefüllt werden können.

Literaturverzeichnis

- BARGMANN, W. (1958): Über die Struktur der Blutkapillaren. Dtsch. Med. Wochenschr. **83**.
- BENNINGHOFF, A. (1930): Blutgefäße und Herz. In: Handbuch der mikroskopischen Anatomie des Menschen, Bd. VI/1.
- (1952): Lehrbuch der Anatomie des Menschen. München-Berlin: Urban und Schwarzenberg.
- (1952): Das Problem der organischen Form. Marburg: Elwert.
- BOENHEIM, F. (1957): Von Huang-ti bis Harvey. Jena: Fischer.
- BRAUS, H. (1934): Anatomie des Menschen, Bd. 2. Berlin: Springer.
- CLARA, M. (1956): Die arterio-venösen Anastomosen. 2. Aufl. Berlin: Springer.
- DIEPGEN, P. (1949/51/55): Geschichte der Medizin. Bd. 1, 2/1, 2/2. Berlin: de Gruyter.
- FALLER, A. (1948): Die Entwicklung der makroskopisch-anatomischen Präparierkunst von Galen bis zur Neuzeit. Acta anatomica, Basel, Suppl. VII.
- GEGENBAUR-FÜRBRINGER (1909): Lehrbuch der Anatomie des Menschen. 8. Aufl. Leipzig: Engelmann.
- GROSSER, O. (1902): Über arterio-venöse Anastomosen an den Extremitätenenden beim Menschen und den krallentragenden Säugetieren. Arch. mikrosk. Anat. **60**.
- HAVLICEK, H. (1929): Vasa privata und Vasa publica. Neue Kreislaufprobleme. Hippokrates **2**.
- HOYER, H. (1872): Über die unmittelbare Verbindung zwischen Arterien und Venen. Tageblatt der Naturforscher-Versammlung zu Leipzig, 149.
- (1874): Über den unmittelbaren Übergang von Arterien in Venen und über eine geeignete Corrosionsmasse. Tageblatt der Naturforscher-Versammlung zu Breslau, 207.
- (1877): Über unmittelbare Einmündung kleinster Arterien in Gefäßäste venösen Charakters. Arch. mikrosk. Anat. **13**.
- HYRTL, J. (1860): Handbuch der praktischen Zergliederungskunst. Wien: Braumüller.
- (1874): Die Korrosionsanatomie und ihre Ergebnisse. Wien: Braumüller.
- (1885): Lehrbuch der Anatomie des Menschen. 18. Aufl. Wien: Braumüller.
- JUHN, B. (1957): William Harvey — jenseits des Lehrbuchs. Ciba-Symposium **5**.
- LUCKNER, H. (1955): Die Funktion der arterio-venösen Anastomosen. In: Bartelheimer-Küchmeister, Kapillaren und Interstitium. Stuttgart: Thieme.
- POUHLES, J. (1954): Utilisation des résines synthétiques dans les techniques anatomiques d'injection-corrosion. Toulouse.
- SCHUMACHER, S. v. (1915): Arterio-venöse Anastomosen in den Zehen der Vögel. Arch. mikrosk. Anat. **87**.
- (1934): Zur Kenntnis der arterio-venösen Anastomosen. Bruns' Beitr. **159**.
- (1938): Über die Bedeutung der arterio-venösen Anastomosen und der epitheloiden Muskelzellen (Quellzellen). Zschr. mikrosk.-anat. Forsch. **43**.
- SCHUMMER, A. (1935): Ein neues Mittel (Plastoid) und Verfahren zur Herstellung korrosionsanatomischer Präparate. Anat. Anz. **81**.
- (1951): Vereinfachtes Plastoid-Korrosions-Verfahren. Anat. Anz. **98**.
- (1949): Zirkulationsfördernde Einrichtungen am Zehenendorgan des Pferdes. Dtsch. Tierärztl. Wochenschr. **56**.

- SPANNER, R. (1937): Der Abkürzungskreislauf der Glandula submaxillaris. Zschr. Anat. Entw.-Gesch. **107**.
- (1937): Der Abkürzungskreislauf der menschlichen Niere; Beitrag zur Kenntnis der Leistungszerteilung ihres Gefäßsystems. Klin. Wochenschr. **16**.
- (1937/38): Über Gefäßkurzschlüsse in der Niere. Anat. Anz. **85** (Erg.-Bd.).
- (1950): Die arterio-venösen Anastomosen. Ftschr. Diagn. u. Ther. **1**.
- (1952): Zur Anatomie der arterio-venösen Anastomosen. Verh. dtsh. Ges. Kreisl. Forsch. **18**.
- STAUBESAND, J. (1950): Über verschiedene Typen arterio-venöser Anastomosen und Glomusorgane im Hahnenkamm. Zschr. Zellforsch. **35**.
- (1950): Über verschiedene Typen arterio-venöser Anastomosen. Anat. Anz. (Erg.-Bd.) **68**.
- (1953): Der Feinbau des Glomus coccygicum und der Glomerula caudalia. Acta anat. **19**.
- (1955): Zur Morphologie der arterio-venösen Anastomosen. In: Bartelheimer-Küchmeister, Kapillaren und Interstitium. Stuttgart: Thieme.
- TISCHENDORF, F. (1938): Experimentelle Untersuchungen zur Histobiologie der arterio-venösen Anastomosen. Zschr. mikrosk.-anat. Forsch. **43**.
- (1948): Bau und Funktion der arterio-venösen Anastomosen. Dtsch. Med. Rundschau **2**.
- WATZKA, M. (1936): Über Gefäßsperrern, arterio-venöse Anastomosen und den Erythrozytenabbau im Rinderlymphknoten. Zschr. mikrosk.-anat. Forsch. **39**.
- (1936a): Über Gefäßsperrern und arterio-venöse Anastomosen. Zschr. mikrosk.-anat. Forsch. **39**.
- (1942): Über Gefäßsperrern und arterio-venöse Anastomosen des Menschen. Klin. Wochenschr. **21**.